Über die entmagnetisierende Wirkung von magnetischen Wechselfeldern.

◆

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der hohen naturwissenschaftlich-
mathematischen Fakultät der
Albert-Ludwig-Universität
zu Freiburg i. Br.

◆

Vorgelegt von Hans Schmidlin.

Freiburg i. Br. 1935.

Über die entmagnetisierende Wirkung von magnetischen Wechselfeldern.

◆

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der hohen naturwissenschaftlich-
mathematischen Fakultät der
Albert-Ludwig-Universität
zu Freiburg i. Br.

Dekan: Prof. Dr. W. Soergel.

Referent: Prof. Dr. Koenigsberger
Korreferent: Geh. Rat Prof. Dr. Mie

◆

Vorgelegt von Hans Schmidlin.

Freiburg i. Br. 1935.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Vorliegende Abhandlungen wurden während meiner Tätigkeit als Volontärassistent am mathematisch-physikalischen Institut der Universität Freiburg angefertigt. Auch an dieser Stelle möchte ich allen meinen Lehrern, insbesondere Herrn Prof. Dr. Koenigsberger für die Anregung zu den Untersuchungen und für sein reges Interesse beim Fortgang der Arbeiten danken.

Einige Instrumente, die zu diesen Untersuchungen gebraucht wurden, waren Herrn Prof. Dr. Koenigsberger von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zur Verfügung gestellt worden. Hierfür sei der Notgemeinschaft der beste Dank ausgesprochen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545312_0117

1. Einleitung.

Um die magnetische Remanenz von Materialien zu vernichten, benützt man meist Apparate von ähnlichem Bau wie von Gumlich und Rogowski 1911 [1]) beschrieben, bei denen durch kontinuierlich gegen Null abklingende Wechselströme niederer Frequenz die Remanenz beseitigt wird.

Die ersten Versuche über die Einwirkung magnetischer Wechselfelder auf die magnetische Remanenz wurden bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ausgeführt. (Literatur: siehe E. F. Huth. Diss. Rostock. 1904.) Im allgemeinen herrschte damals die Meinung, daß elektrische Schwingungen magnetisierend wirken müßten.

Rutherford [2]) fand jedoch 1897, daß gesättigte magnetisierte Stahlnadeln durch elektrische Schwingungen teilweise entmagnetisiert werden können. Rutherford wies durch Abätzen nach der Einwirkung des Wechselfelds auf einen Magnetstab in dessen Innerem entgegengesetzt zueinander magnetisierte Schichten nach. Mit Hilfe von Skineffekt und Dämpfung erklärte er diese Erscheinung.

E. F. Huth [3]) vermutete 1904, daß das magnetische Moment eines Magneten durch elektrische Schwingungen geringer Dämpfung im Verlauf ihres Abklingens immer nur verringert werden könne.

2. Apparatur.

Auf einen Magnetometer ist die Feldspule befestigt in die die zu untersuchende Probe eingeführt wird. Diese Feldspule ist mittels Leitungen mit den Wechselstrom-Generatoren verbunden.

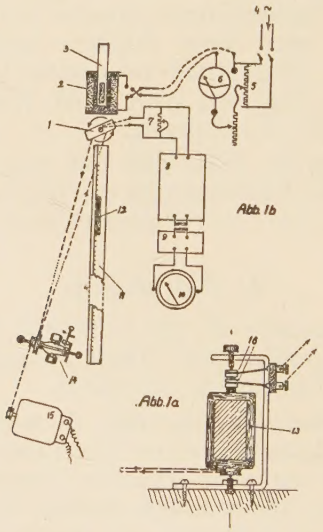
Als Magnetometer wurde hauptsächlich ein nach dem Induktionsprinzip arbeitendes, verwendet, dessen für diese Untersuchung wesentlichen Vorteile in: Störfeld-Freiheit (da nur unmagnetisches Material zum Bau verwendet ist, und Magnete nur zur Kompensation dienen), Unveränderlichkeit gegenüber Wechselfeldern in der Feldspule und rascher Einstellung (2—3 Sek.) bestanden.

Bei diesem Induktionsmagnetometer erzeugt das magnetische Feld, das durch die Remanenz des Materials hervorgerufen wird, in einer rotierenden Spule eine Wechselspannung. Diese auf möglichst kleingehaltenen Stahlspitzen drehbare Spule *(siehe Abb. 1a u. 1b, 1)* hat einen Querschnitt von ungefähr 30×45 mm². Ihre in zwei Scheiben unterteilte Wicklung *(siehe Abb. 1a, 13)* besitzt eine Windungszahl von etwa 10000 eines Drahtes mit Durchmesser 0,04 mm bei einem Gleichstromwiderstand von rund 10000 Ω und einer Selbstinduktion von ungefähr 0,8 Henry.

---

[1]) E. Gumlich u. W. Rogowski, Annal. d. Phys. **4**. 34. 235—257, 1911.
„ „ Elektrotechn. Zeitschr. **32**, 180—184, 1911.
E. Gumlich, Leitfaden d. magn. Messungen, Braunschweig 1918.
[2]) E. Rutherford, Phil. Trans. 189. 1. 1897.
[3]) E. F. Huth, Diss. Rostock. 1904.

Gleichmäßige Drehung der durch Elektromotor *(Abb. 1b, 15)* angetriebenen Induktionsspule wird durch einen Phonographen-Regulator (14) bewirkt. (Umdrehungsgeschwindigkeit der Spule ungefähr 2000 T/min.) Die in der Induktionsspule induzierten Wechselspannungen werden mittels zweier amalgamierter Schleifkontakte *(siehe Abb. 1a, 16)* abgenommen und an einen vierstufigen Niederfrequenzwiderstandsverstärker gelegt *(siehe Abb. 1b, 8)*. Die vom Ausgangstransformator des Verstärkers kommende Wechselspannung wird mittels Audion (9) in Gittergleichrichtungsschaltung in bekannter Weise gleichgerichtet. Die am Gitter der Audionröhre durch Vernichtung der positiven Halbperioden entstehende negative Gleichspannung in Höhe des Scheitelwertes der ankommenden Wechselspannung, wird über



den Gitterableitungswiderstand an das Gitter einer Meßröhre gelegt. Der Ruhestrom für Gitterladung O ist mittels Brückenschaltung im Galvanometer (10) abkompensiert. Empfindlichkeit des Galvanometers = $1{,}5 \times 10^{-7}$ Amp./Skt.

Die H-Komponente des Erdfeldes ist in der Induktionsspule und angenähert auch in der Feldspule (2) durch einen starken Permanentmagneten abkompensiert. (Abstand ungefähr 40 cm.)

Der Ausschlag des Galvanometers, den das induzierende remanente Feld hervorruft, wird durch ein entgegengesetzt gleiches Feld, das durch Verschieben des Eichmagneten (12) auf der Eichschiene (11) einzustellen ist, zum Verschwinden gebracht. Die Skala auf der Eichschiene wird mittels Spule von bekanntem Moment geeicht. Die Feldempfindlichkeit des Instrumentes ist leicht über 10^{-5} Oe/Skt. zu steigern. Die Momentempfindlichkeit M/Skt. beträgt dann im Abstand von 30 mm von der Induktionsspule

ungefähr 10^{-2} CGS/Skt. maximal, wegen der Störungen durch die Straßenbahn. Diese Empfindlichkeit kann mittels Nebenschlusses (7) beliebig verringert werden. Nachteilig beim Induktionsmagnetometer ist, daß es auch für Wechselfelder in der Feldspule empfindlich ist. Es kann deshalb nur bei abgeschaltetem Wechselfeld gemessen werden.

Um den Vorgang während der Einwirkung der Wechselfelder auf die magnetische Substanz zu verfolgen, wurde ein astatisches Nadelmagnetometer besonderer Bauart mit Registriervorrichtung benützt.

Die Feldspulen *(Abb. 1 b, 2)* waren in ihrem Bau den vorhandenen Stromquellen angepaßt, da deren Leistungsfähigkeit beschränkt war. Um hohe Feldstärke mit kleinen Stromstärken und kleinen Spannungen zu erreichen, wurde auf vollkommene Homogenität der Wechselfelder verzichtet. Bei Hochfrequenz wurden kapazitätsarme Spulen und Zuleitungen verwendet, um nicht durch kapazitive Nebenschlüsse Fehler in der Berechnung der Feldstärken zu erhalten. Da bei Hochfrequenz die Feldspule als Teil-Selbstinduktion eines Schwingungskreises diente, mußte ihre Selbstinduktion auf einen günstigen Wert gebracht werden. Die Spulenkonstanten wurden mittels Gleichstrom und ballistischem Galvanometer bestimmt.

Die niederfrequenten Wechselströme wurden erzeugt: teils mit Dynamos 25, 40, 100 und 300 Hz, teils mit einer Tonfrequenz-Apparatur, bestehend aus Oscillator und Verstärker, die Frequenzen von 18 Hz bis 30000 Hertz beliebig einstellen ließ. Die Wechselströme wurden bei dieser Vorrichtung durch einen Transformator 10 : 1 am Ausgang des Verstärkers in genügender Stärke erhalten (20 bis 120 mA.) Hochfrequenz bis 500 KH wurde mit einer Schaltung nach Schnell erzeugt. Ganz langsame Frequenzen wurden mittels Telefon-Induktorien (mit Übersetzung von Elektromotor angetrieben) oder von Hand bewegtem Potentiometer erzeugt, wobei durch Siebketten der Wechselstrom gereinigt wurde. Pulsierende s.h. halbperiodische Wechselströme von Sinusform gab eine Ventilschaltung mit einer Elektronenröhre. (Anschluß der Generatoren in *Abb. 1 b* bei 4; 5 = Regulierwiderstände).

Die Wechselstromstärke wurde mit Hitzdrahtinstrumenten und Thermokreuzen *(Abb. 1 b, 6)* gemessen, die öfters nachkontrolliert wurden.

Für diese Messungen war eine ständige Kontrolle der Abweichungen der Wechselströme von der Sinusform nötig. Die Stromform wurde mit der Schreibvorrichtung eines Cardiographen (Wissinag Basel) bis 50 *H* direkt aufgenommen.

Für einen sinusförmigen Wechselstrom ist der Scheitelwert i_m durch Multiplizieren des Effektivstromes I, wie ihn ein Hitzedrahtinstrument anzeigt, mit $\sqrt{2} = 1{,}414$ zu berechnen für den pulsierenden Wechselstrom ist

$$i_m = I\,2 \cdot \sqrt{2}.$$

Bei nicht-sinusförmigem Wechselstrom ist bekanntlich der Scheitelwert je nach der Stromform größer oder kleiner. Mittels Fourier-Analyse kann man solche Ströme durch Addition sinusförmiger Komponenten mit

Perioden von ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz beschreiben und der Scheitelwert dieser Ströme ergibt sich aus der bekannten Beziehung

$$i_m = \sigma \cdot I$$

wobei σ ein Faktor ist, der aus den Amplituden und den Phasenverschiebungen der sinusförmigen Komponenten eines mehrwelligen Stromes durch Fourier-Analyse angenähert berechnet werden kann.

Die Umständlichkeit dieses Verfahrens der Bestimmung der für die Entmagnetisierung wesentlichen Scheitelwerte erforderte ihre direkte Messung. Diese wurde mit einem der üblichen Glühkathodengeräte vorgenommen. Der durch das Gerät geschickte Wechselstrom wird stets auf gleiche Stärke einreguliert. Durch Vergleich mit einer möglichst rein sinusförmigen Stromkurve wird das Gerät geeicht. Durch Einschalten eines Transformators zwischen Stromquelle und Scheitelwertgerät kann man die Unsymetrie von Kippschwingungen messen.

Die Frequenzen von 120 H—30000 H wurden mit einem nach dem Prinzip der Transponierungs-Empfänger der Radiotechnik arbeitenden Gerät bestimmt, mit dem die bei niederen Frequenzen häufigen Oberfrequenzen in ihrem ungefähren Intensitätsverhältnis zur Grundfrequenz festgestellt werden konnten.

Für die Messung von Frequenzen unter 120 H wurde der in 2 angeführte Oscillograph und unterhalb 50 H außerdem ein Ankerzählwerk benützt.

3. Untersuchte Materialien.

An folgenden Materialien wurde die Verminderung der Remanenz durch Wechsel- und Gleichfelder untersucht: Mineralien: Künstlicher Magnetit (I. G. Farben), natürliche Magnetite (Gallivåra, Traversella), Magnetkies (Morho Velo), Gesteine: Granit (Neiße), Basalt-Lava (Chinjero Teneriffa), Ziegelsteine aus Lehm vom Lehener Berg und Merzhausen bei Freiburg i. Br., Metalle: Reinstes Elektrolyteisen (Einkristall).

Bei den Materialien mit hoher Suseeptibilität wurde die entmagnetisierende Wirkung der Form dadurch möglichst vermindert, daß sie als lange, dünne Stäbchen verwendet wurden. Gut leitende Substanzen die nicht als Drähte zu erhalten waren, wurden zur Verminderung der Wirbelströme und des Skineffekts fein gepulvert und mit Quarz vermischt, wobei die entmagnetisierende Wirkung der Form in Kauf genommen werden mußte.

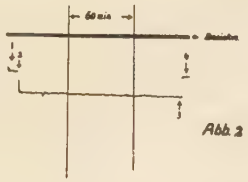
Der Skineffekt, aus Leitfähigkeit und Permeabilität berechnet, ergibt sich auch für die höchste verwendete Frequenz von ca. $1{,}5 \times 10^5$ H als zu vernachlässigen.

Da die Art der Magnetisierung großen Einfluß auf die Meßergebnisse hatte, war es nötig, daß die Stärke der magnetisierenden Felder immer gleich war und daß wegen der magnetischen Viskosität während derselben Zeitdauer magnetisiert wurde.

Thermoremanenz [1]) wurde durch Abkühlenlassen des Materials vom C. P. in bestimmten Feldstärken hervorgerufen. Durch Abkühlenlassen des Materials vom C. P. bei abkompensiertem Erdfeld wurde vollständig entmagnetisiert.

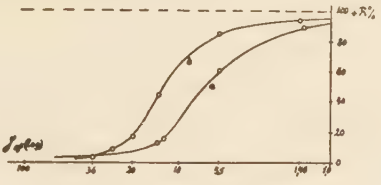
4. Der Entmagnetisierungsvorgang.

Die Entmagnetisierung des gesättigt magnetisierten Materials durch ein konstantes Wechselfeld beliebiger Frequenz erfolgt, wie *Abb. 2* (Regi-



strierung des magnetischen Moments eines Würfels 25 mm Kantenlänge von gepulvertem, verkittetem, künstlichem Magnetit) beim Einschalten des Wechselfeldes. Es bedeuten: Zeitpunkt 1 Ausschlag des Magnetometers bei ungeschwächtem Moment, 2 Zurückgehen des Ausschlags beim Einschalten eines Wechselfeldes ($v = 160$ KH. $H = 13$ Oe).

Abb. 3a zeigt für Stäbchen von künstlichem Magnetit ($25 \times 4{,}0 \times 31$ mm) und *b* für Magnetkies (Morho Velho $3 \times 4 \times 15$ mm) bei 300 Hz, die Abhängigkeit der Entmagnetisierung von der effektiven Feldstärke.



Für wachsendes H nähert sich die Remanenz (= R in % der Ausgangsremanenz R_0) asymptotisch dem Wert 0%, da für $R - O$ die aufmagnetisierende Halbperiode Einfluß gewinnt.

Die Ausschaltung des Hochfrequenzfeldes erfolgte bei der in *Abb. 2* gezeigten Registrierung durch Unterbrechen des Heizstromes der Generatorröhre (bei 3). Infolge der Trägheit mit der sich deren Faden abkühlt, klingen die Schwingungen in schätzungsweise 0,5 Sek. ab. Die in dieser Zeit wirkenden ungefähr 8×10^4 Perioden vermögen bei ihrem Abklingen keine sicher meßbare Änderung der Remanenz hervorzubringen.

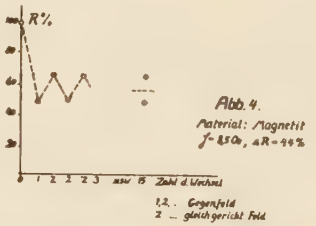
---

[1]) Vgl. J. Koenigsberger Phys. 25, **33** p 468, 763, 1932.

Sehr starke Wechselfelder erzeugen vollständige Entmagnetisierung. Rasches Unterbrechen ohne Rücksicht auf die Phase, in der sich gerade das Wechselfeld befindet, gibt unregelmäßig schwankende Werte für die Entmagnetisierung innerhalb Grenzen, die von der Feldstärke abhängen. Dagegen hat rasches Anschalten bei beliebiger Phase des Stromes keine Wirkung auf die Entmagnetisierung.

Die Veränderung des magnetischen Moments von Magnetit in mehrfach umgepolten statischem Feld ist in *Abb. 4* gezeigt.

Die erste Gegenfeldamplitude vermindert die Remanenz um einen von ihr abhängigen Betrag (52%), der durch die gleichgroße gleichgerichtete Amplitude nur zu einem kleinen Teil rückgängig gemacht wird (9%). Nach der ersten Periode pendelt das Moment der Substanz zwischen diesen zwei Endwerten hin und her. Bei genügend raschem Wechsel zeigt das Registriermagnetometer wegen seiner Einstellträgheit ein zwischen den zwei Endwerten liegendes Moment an.



Wahrscheinlich hat der Entmagnetisierungsvorgang, da eine Trägheit von Magnetisierungsprozessen bisher nicht aufgefunden wurde, bei hohen Frequenzen den gleichen Verlauf.

Gleiche Werte der Entmagnetisierung werden für verschiedene Materialien durch verschiedene Feldstärken hervorgerufen *(sh. 7)*.

Eine Messung an Magnetit bei $\nu = 300$ H mittels pulsierendem Wechselstrom im Vergleich zum gewöhnlichen Wechselstrom desselben Scheitelwertes (15,2 Oe bei 57×10^{-3} A) ergab folgendes: Wurde die normale Wechselspannung (entspr. Strom 40×10^{-3} A) zuerst einer, dann in der anderen Richtung an die Feldspule gelegt, so betrugen die jeweiligen Entmagnetisierungen 75%. Ein entsprechender pulsierender Wechselstrom (20×10^{-3} A) gab bei gegen die Remanenz gerichteter Amplitude 75%; Gleichstrom (57×10^{-3} A ergab 76%, also das gleiche. Nur der Gegenfeldscheitelwert hat also entmagnetisierende Wirkung.

5. Frequenzabhängigkeit der Entmagnetisierung.

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Entmagnetisierung von der Frequenz ergaben sich durch die Verwendung von nicht rein sinusförmigen Wechselströmen Schwierigkeiten, die durch direkte Messung der Scheitelwerte der Ströme umgangen wurden.

Für Ströme von gleichem Scheitelwert wurde die Frequenzabhängigkeitskurve *Abb. 5* für Magnetit (Stäbchen) erhalten. Für die konstante Feldstärke von 11 Oe ist innerhalb der Fehlergrenze ± 5% die Entmagnetisierung konstant bis zu 2×10^5 H. Dasselbe wurde für kleinere Feldstärken bis 0,31 Oe gefunden, und zwar ist für Entmagnetisierung $-\Delta R \ll R_0$ der Wert $-\Delta R$ durch Wechselfelder gleich dem statischen Wert. Für höhere $-\Delta R$ beginnt für Wechselfelder der Einfluß der aufmagnetisierenden Halbperiode, wodurch für $H \to \infty$ sich die Feldstärkeabhängigkeitskurve assymptotisch $-\Delta R = 100\%$ nähert.

Die Entmagnetisierung verhält sich also im untersuchten Bereich wie die Permeabilität, denn eine neuerdings durch R. Sänger und G. Fejer[1]) ausgeführte Untersuchung ergab Konstanz der Permeabilität bis zu Frequenzen

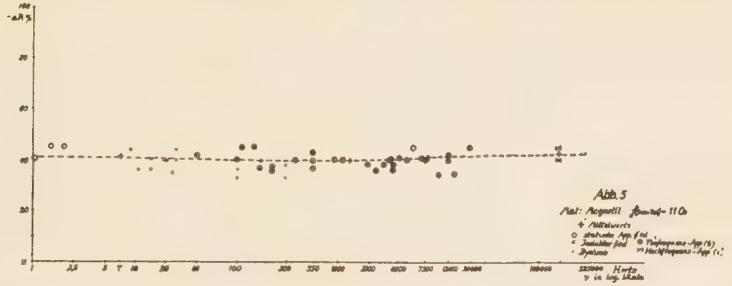


Abb. 5

von 3×10^8 H. Ebenso wurde durch G. R. Wait[2]) für Eisen und Magnetit nachgewiesen, daß die Kurven der Frequenzabhängigkeit der Permeabilität keine Unstetigkeiten bis zu 5×10^6 H aufweisen. Es besteht die Möglichkeit, daß bei den Untersuchungen von Malov[3]) und Arkadiew[4]), die für Eisen und Nickel bei bestimmten Frequenzen um 3×10^6 H eine Frequenzabhängigkeit fanden, nichtsinusförmige Ströme eine Rolle spielten.

6. Einfluß der Vorgeschichte der Remanenz auf die Entmagnetisierung.

Um starke Schwankungen in der entmagnetisierenden Wirkung von Feldern zu vermeiden, wurde vor den Versuchen das Material stets in der gleichen Weise behandelt. Eine geringere Remanenz als die maximale kann durch schwächeres Aufmagnetisieren oder durch eine Entmagnetisierung nach dem Aufmagnetisieren durch irgendwelche äußere Einflüsse erhalten werden. Ein entmagnetisierendes Feld wirkt dann verschieden, wie schon Wiedemann[5]) beobachtete.

---

[1]) Helv. Phys. Acta **7**, 664, 665, 1934.
[2]) Ztschr. f. Phys. **77**, 695, 1932.
[3]) Ztschr. f. Phys. **74**, 431, 1932.
[4]) Ztschr. f. Phys. **74**, 416, 1932.
[5]) G. Wiedemann, Elektrizität **3**, 501, 1895.

Es gibt drei Möglichkeiten, das gleiche magnetische Moment einer Substanz zu erzeugen:

1. die Magnetisierung wird durch Thermoremanenz erzeugt. Die Stärke der Remanenz wird dann durch Stärke des Feldes bestimmt, in der sich das Material vom C. P. abkühlt.

Wird das Material, nachdem es eine Remanenz R_o nach Fall 1 er-

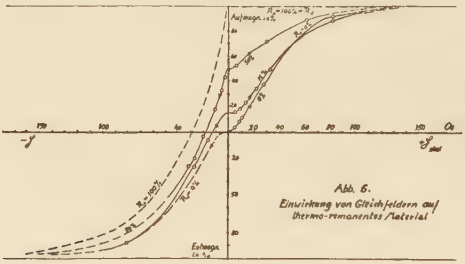


Abb. 6.
Einwirkung von Gleichfeldern auf thermo-remanentes Material

halten hat, von Null an wachsenden Feldstärken, die gegen seine Magnetisierung gerichtet sind ausgesetzt, so erhält man eine bestimmte Feldstärkeabhängigkeitskurve für die Abnahme der Remanenz. Wird das Material dann von neuem auf dasselbe R_o nach Fall 1 magnetisiert, und von Null an wachsenden, mit der Remanenz gleichgerichteten Feldern ausgesetzt, so erhält man eine Feldstärkeabhängigkeit für die Verstärkung seiner Remanenz. Nimmt man für verschiedene Remanenzen diese Kurven für $\pm H$

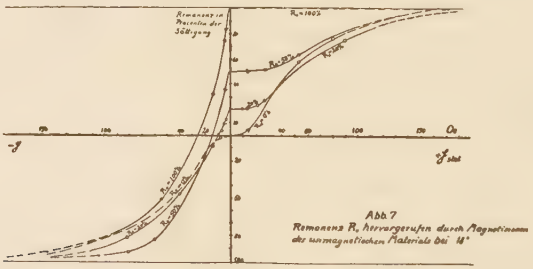


Abb. 7
Remanenz R_r hervorgerufen durch Magnetisieren des unmagnetischen Materials bei H'

auf, so entsteht eine Kurvenschar, gemäß *Abb. 6* (für Stäbchen von künstlichem Magnetit). Das Charakteristische der Kurvenschar für Magnetisierung nach Fall 1 ist, daß jeder noch so kleinen gleich- oder gegengerichteten Feldstärke eine Zunahme bezw. Abnahme der Remanenz entspricht. Die $R_o = 100\%$ (= Remanenz bei Sättigung R_s) — Kurve konnte nur an bei Zimmertemperatur magnetisiertem Material aufgenommen werden.

2. Fall: Das Material wird mit Hilfe von starken Wechselfeldern vollständig entmagnetisiert, und dann bei Zimmertemperatur mehr oder weniger

hoch magnetisiert. Bei derselben Behandlung, die im Fall 1 angewandt wurde, durch anwachsende gleichgerichtete und gegengerichtete Felder entsteht die Kurvenschar der *Abb. 7.*

3. Fall: Wird die Substanz gesättigt magnetisiert und dann durch Gleichfelder mehr oder weniger entmagnetisiert, entstehen wieder Remanenzen beliebiger Höhe zwischen 0% und 100%. Die Behandlung mit $\pm H$ in obiger Weise gibt die Kurvenschar der *Abb. 8.*

Die Differentialkurven zu jeder Kurve der *Abb. 6, 7, 8* lassen das verschiedene Verhalten der Fall 1, 2 und 3 erreichten Remanenzen gegen gleich- und gegengerichtete Felder noch deutlicher hervortreten. Bei gleicher Ausgangsremanenz R_0 unterscheiden sich die entsprechenden Differentialkurven durch: ihren Schnittpunkt mit der Abcisse bei einer Feldstärke $\pm H_n$, das Maximum der Änderung $\frac{\Delta R}{\Delta H}$ bei einer Feldstärke $\pm H_m$, und den Schnittpunkt mit der Abcisse, bei einer Feldstärke H_0, die ∞ werden kann.

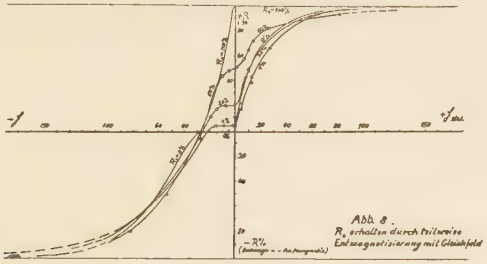


Abb. 8.
R_0 erhalten durch teilweise Entmagnetisierung mit Gleichfeld

Für $R_0 = 50\%$ ist z. B. für: Fall I (Thermoremanenz) $-H_n = 0$ Oe, $-H_m = 7$ Oe, $-H_0 = \infty$. II (teilweise Magnetis.) $-H_n = 0$ $-H_m = 0$ $-H_0 = \infty$. III (teilweise Entmagnetis.) $-H_n = 2{,}5$ Oe $-H_m = 21$ Oe $-H_0 = \infty$. [1])

Nach den Theorien von Ewing, Weiß, Gans hängt die Änderung der Remanenz in einem bestimmten Feldstärkebereich von der Größe und Zahl der in diesem Bereich auszurichtenden Elementarkomplexe (Blocks) ab. Die Differentialkurven würden also die Verteilung der Blocks angeben, in Abhängigkeit von der Kraft, die zu ihrer Ausrichtung nötig ist.

Demnach müssen an den Stellen der Kurvenscharen von § 10, wo die Remanenz bei Änderung der Feldstärke konstant bleibt, bezw. an denselben Stellen Differentialkurven wo $\Delta R = 0$, die Blocks schon gedreht sein. Im Fall III sind also der Vorbehandlung des Materials entsprechend zwei Gruppen von gleichgerichteten Blocks vorhanden, die so zueinander stehen, daß nach außen die Remanenz verringert ist, eine Erscheinung, die man

[1]) Durch Aufnahme solcher Kurven an natürlich magnetisiertem Material läßt sich die Art der Magnetisierung feststellen. (Thermo, Blitz usw.)

Pseudo-Entmagnetisierung nennt (Steinhaus[1]). Entmagnetisierung durch genügend langsam abklingendes Wechselfeld und durch Erhitzen über den C. P. verhalten sich gleich und geben Ideal-Magnetisierung.

7. Die Feldstärkeabhängigkeit der Entmagnetisierung bei verschiedenen Materialien.

Die wesentlichen Erscheinungen des Entmagnetisierungsvorganges zeigten sich in allen Materialien gemeinsam. Außer den in 8 und 9 beschriebenen Beobachtungen waren nur qualitative Unterschiede im Verlauf der Feldstärkeabhängigkeit für die verschiedenen Materialien vorhanden. Um eine Änderung des Moments um jeweils 50% zu erhalten, sind verschieden hohe, von den Materialkonstanten abhängige Feldstärken F nötig. Diese gehen meist mit der jeweiligen Koerzitivkraft parallel.

Spezielle Werte: Magnetit künstlich Stäbchen, 2,5×4,0×31 mm. F = 14 Oe.
Magnetkies Stäbchen 3×4×15 mm Morho Velho. F = 17 Oe.

Titanomagnetit Buon Accord, Pretoria, Ellipsoid 3,3×20 mm.
F = 600 Oe (extrapoliert).

Elektrolyteisen — Einkristall v. WC Hereaus-Hanau 30×0,03 mm.
F = 0,05 Oe.

8. Der Einfluß der magnetischen Nachwirkung auf den Entmagnetisierungsvorgang.

Die meisten der untersuchten Materialien erreichten beim Einschalten der Wechselfelder den verminderten Wert ihres Moments innerhalb Zeitdauern, die unterhalb der Einstelldauer der Instrumente lagen. Einige Gesteine zeigten jedoch eine mit dem Registriermagnetometer noch sicher nachweisbare Trägheit der Änderung des Moments beim Entmagnetisieren.

Beispiel: Ziegelstein (an Hand einer Registrierung). Der Verlust der Remanenz hat nach 5 Minuten 5%, nach einer Stunde 8%, nach 15 Std. 10% betragen. Der Verlauf der Änderung ist angenähert der einer e-Funktion von t[2]). Nur im ersten Augenblick findet eine mehr oder weniger starke sprunghafte Änderung statt.

Die Änderungsgeschwindigkeit hängt von der Frequenz des entmagnetisierenden Feldes ab. Die Verringerung der Remanenz eines Materials geht für tiefe Frequenzen schneller vor sich als für hohe. Die

---

[1]) Steinhaus, Hdb. Geiger/Scheel, Bd. 15, S. 179—180, 1927.

[2]) Die Veränderung geht wahrscheinlich nach einer Funktion $\Sigma e^{\alpha t}$ vor sich, wobei α eine Funktion der C-Punkte ist.

Halbwertszeiten auf *Abb. 9* betrugen *(für Ziegelmaterial)* für 40 Hertz 2 min., für 160 KH 12 min. Der Endwert ist für beide Frequenzen derselbe. Versuche mit niedersten Frequenzen an Ziegelmaterial ergaben nach 10 Umpolungen eine noch merkliche Änderung der Remanenz. Diese allmähliche Abnahme der Remanenz beim Entmagnetisieren ist bei den Versuchen der früher angeführten Forscher öfters beobachtet worden. Jedoch ist sie, wie sich auch aus § 4 ergibt, nicht als charakteristisch für den Entmagnetisierungsvorgang anzusehen.[1])

Ziegelmaterial und einige Gesteine zeigen nach dem Aufmagnetisieren ein allmähliches Zurückgehen ihrer Remanenz nach einer e-Funktion, ohne daß eine äußere Ursache wirkt. Nach Tagen noch läßt sich eine Veränderung nachweisen. Bei gesättigt magnetisiertem Ziegelstein beträgt die spontane Änderung in 24 Std. ungefähr 10%. Nach einigen Tagen (3–4) wird diese spontane Entmagnetisierung allmählich unmerklich. Für künst-

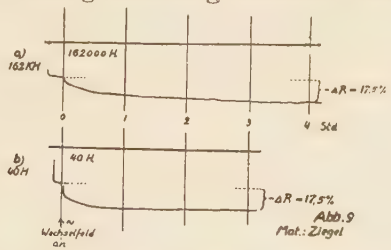


Abb. 9

lichen Magnetit in Pulverform wurde die Abhängigkeit der (sehr geringen) spontanen Verminderung der Remanenz R_s von der Ausgangsremanenz R_o festgestellt. Es ergab sich bei: $R_o = 100\%$ ($2{,}04 \times 10^{-2}$ C. G. S.) $-\Delta R_s = 0{,}03 \times 10^{-2}$; $R_o = 44\%$, $-\Delta R_s = 0{,}04 \times 10^{-2}$; $R_o = 22\%$, $-\Delta R_s = 0{,}03 \times 10^{-2}$ je nach 24 Stdn. Die Änderung der Remanenz bleibt also konstant innerhalb der Meßgenauigkeit. Ist die Remanenz durch teilweise Entmagnetisierung aus gesättigt magnetisiertem Material entstanden so ist keine spontane Änderung zu beobachten. Messungen ergaben, daß die Summe $-\Delta R_s + -\Delta R_f = \text{const.}$ ($-\Delta R_f$ = Änderung durch Wechselfeld), wenn sie immer von derselben Zeit nach dem Magnetisieren an gerechnet wird. Die Wechselfelder beschleunigen also scheinbar die spontane Entmagnetisierung, soweit eine solche vorhanden ist. Beispiel: (Ziegelstein gesättigt magnetisiert). Die Änderungen der Remanenz werden von 5 Min. nach dem Magnetisieren an gerechnet. Dauer der spontanen Entmagnetisierung = D, spontane Änderung $= -\Delta R_s$, Änderung durch Wechselfeld $= -R_f$, Summe der Änderungen $= -\Delta R$. $D = 0{,}08$, $-\Delta R_s = 2\%$, $-\Delta R_f = 15{,}5\%$ und $-\Delta R = 17{,}5\%$, $D = 3$ Std. $-\Delta R_s = 4{,}1\%$, $-\Delta R_f = 13{,}2\%$, $-\Delta R = 17{,}3\%$, $D = 10$ Std. $-\Delta R_s = 6{,}5\%$, $-\Delta R_f = 11\%$, $-\Delta R = 17{,}5\%$.

[1]) Die angeführten Gesteine besitzen C.-Punkte unterhalb 100° C.

Bei genauen Messungen an solchen Materialien muß man bis zum Beginn der Messung also immer dieselbe Zeit verstreichen lassen. Die in dieser Zeit vor sich gehende Änderung $-\Delta R_s$ bleibt dann immer gleich und läßt sich leicht abziehen.

Die Erscheinungen der magnetischen Viskosität sind noch wenig geklärt. Die Gesteine, an denen die in 8 beschriebenen Versuche gemacht wurden, besitzen einen C. P. wenig über Zimmertemperatur. Es ist deshalb möglich, daß ein Teil ihrer Blocks sehr labil ist und durch geringste Feldschwankungen gedreht werden kann. Dafür spricht auch der Versuch von 8 bei dem die spontane Entmagnetisierung von verschiedenen Ausgangsremanenzen die durch Aufmagnetisieren nach Fall 2 erhalten wurde, gemessen wurde. Da $R_o = 20\%$ noch die gleiche absolute Abnahme für die spontane Entmagnetisierung E_s gibt wie $R_o = 100\%$, hat es den Anschein, als ob die oben aufgeführten labilen Blocks zu denen gehörten, die auch durch geringe Feldstärken ausgerichtet werden.

9. Materialien mit unbeständigen Entmagnetisierungswerten.

Bei den meisten Materialien traten keine Änderungen der Remanenz ein, wenn das entmagnetisierende Feld ausgeschaltet worden war. An Hämatit von Dognazka trat jedoch bei Werten der Entmagnetisierung bis 10% eine Wiederverstärkung der verminderten Remanenz beim Ausschalten des Feldes ein. Die Schnelligkeit dieser Änderung war größer als die Einstellgeschwindigkeit der Magnetometer. Das gleiche ist bei Titanomagnetit und Roteisen zu beobachten. Beispiele: Hämatit bei 162 K H 18 Oe, Gesamtentmagnetisierung $E_1 = 12\%$, dauernde Entmagnetisierung $E_2 = 2{,}3\%$; Roteisen bei derselben Frequenz und bei 40 H 75 Oe $E_1 = 28{,}5\ \%$, $E_2 = 1{,}7\%$; Ilmenit und Titanomagnetit zeigen das Zurückgehen der Entmagnetisierung in etwas geringerem Maße.

Auf etwas andere Art verstärkte sich die Remanenz basaltischer Lava vom Chinjero (Teneriffa), deren C. Pkt. in der Nähe der Zimmertemperatur liegt, nach dem Ausschalten des Wechselfeldes wieder.

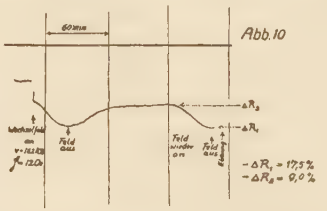


Abb. 10 zeigt beim Einschalten des Feldes von 160 KH zunächst eine sehr rasche Änderung des Momentes der Probesubstanz. In den folgenden 30 Minuten erfolgt eine langsamere Änderung. Die Entmagnetisierung war noch nicht auf dem Endwert angekommen als das

Wechselfeld wieder ausgeschaltet wurde, worauf sich das Moment der Lava-Probe sofort wieder zu verstärken begann. Nach ungefähr 1,5 Std. war noch eine geringe Verstärkung wahrzunehmen. Die Gesamtänderung nach dem Ausschalten des Feldes betrug 17,5%, die Erholung 8,5%. Die dauerhafte Entmagnetisierung beträgt also 9%. Der Betrag des ersten raschen Ausschlags beim Einschalten des Wechselfeldes stimmt mit dem Betrag der dauerhaften Entmagnetisierung überein. Erneute Entmagnetisierung nach erfolgter Erholung des Materials ergibt immer denselben Wert für die Entmagnetisierung bei gleichem Gegenfeld.

10. Besondere Versuche.

Materialien mit guter elektrischer Leitfähigkeit wurden wegen Skin-effekt und Wirbelströmen öfters in gepulvertem Zustand mit Quarzsand vermischt verwendet. Deshalb wurde untersucht ob lockeres Material andere Werte für die Entmagnetisierung gibt wie festes.

Die gleiche Mischung und Menge des Magnetitpulvers mit Quarzsand wurde einmal als lockeres Pulver und das andere Mal mit Paraffin verkittet den Wechselfeldern ausgesetzt. Ein Unterschied zeigte sich zunächst in der Magnetisierbarkeit beider Materialien. Es verhielten sich die Momente des pulverförmigen Materials P zum verfestigten F wie $0{,}20 \times 10^{-2} : 0{,}13 \times 10^{-2}$ C. G. S. E. Bei der Entmagnetisierung verhielt sich P zu F wie: bei Gleichstrom 59 : 50, bei Wechselstrom 25 H, 62 : 50, bei Hochfrequenz 160 KH, 62 : 50. (Die Werte für F sind zum Vergleich auf den gleichen Wert gebracht). Pulverförmiges bewegliches Material gibt also höheres Moment beim Entmagnetisieren und größere prozentuale Entmagnetisierung. Die Änderung der Momente beim Einschalten der Felder geht bei P ebenso wie bei F für das benutzte Magnetometer in Zeiten < 1 min. vor sich.

Ferner wurde die Mischung Magnetit-Quarzsand in Würfelform gebracht und einmal mit der magnetischen Achse wie gewöhnlich parallel und dann in 90°-Richtung zum entmagnetisierenden Feld gestellt. Der Vorgang verläuft im Querfeld ebenso wie beim Parallelfeld beschrieben. Die Entmagnetisierungen verhielten sich für statisches Feld $\parallel : \perp = 120 : 50$, (für mehrmaliges Umpolen blieb der Wert derselbe). Für Niederfrequenz 25 H $\parallel : \perp = 60 : 50$, für 300 H $\parallel : \perp = 61 : 50$, für Hochfrequenz $\parallel : \perp = 125 : 50$. Für das verkittete Pulver waren die entsprechenden Entmagnetisierungen ungefähr 20% geringer, das Verhältnis Parallelfeld zu Querfeld war aber das gleiche wie für lockeres Pulver.

Mathematisch-Physikalisches Institut
Freiburg i. Br.

Zusammenfassung.

1. Wird ein remanent magnetisiertes Material magnetischen Wechselfeldern ausgesetzt, so vermindert sich in Abhängigkeit von Feldstärke und Material-Konstanten sein magnetisches Moment.

2. Diese Verminderung des magnetischen Moments geht beim Einschalten vor sich und verläuft praktisch momentan, da sie im wesentlichen nur von der ersten Gegenfeld-Amplitude des Wechselfeldes abhängt. Die gleichgerichtete Amplitude hat bei Entmagnetisierung, die geringer ist als 10% der Ausgangsremanenz, nur geringe Einwirkung. Bei hohen Feldstärken und Entmagnetisierungen gegen 100% gewinnt die gleichgerichtete Halbperiode immer mehr an Einfluß. Ausschalten des Wechselfeldes ändert die erreichte Remanenz nicht merklich.

3. Für Frequenzen bis zu ungefähr 300000 Hz läßt sich bei 5% Meßgenauigkeit eine Frequenzabhängigkeit der entmagnetisierenden Wirkung von Wechselfeldern nicht nachweisen. Für kleine Entmagnetisierungen ($< 10\%$) ist die Wirkung eines Wechselfeldes nahe gleich der Wirkung eines gegengerichteten Gleichfeldes von der Stärke des Scheitelwerts der Gegenfeld-Halbperiode.

4. Die Einwirkung von Gleich- und Wechselfeldern auf ein Material ist von dessen magnetischer Vorgeschichte abhängig.

5. Bei 90% zur Magnetisierungsrichtung der Versuchssubstanz stehendem Wechselfeld ist die Entmagnetisierung geringer als bei Parallelfeld unter gleichen Bedingungen.

6. Einige Materialien, die auch die Erscheinung der magnetischen Viskosität zeigen, erreichen unter Einwirkung eines Wechselfeldes den Endwert der Entmagnetisierung erst nach einer größeren Anzahl von Perioden. Die Veränderung ihres magnetischen Moments unter Einwirkung von Wechselfeldern geht nach einer e-Funktion vor sich. Bei hohen Frequenzen schreitet die Verminderung der Remanenz langsamer fort als bei tiefen; Halbwertzeiten für 40 : 160000 Hz = 2 : 12 min. für Ziegelstein.

7. Einige Materialien zeigen Wiederverstärkung ihrer Remanenz nach dem Ausschalten des entmagnetisierenden Feldes. Nach der Schnelligkeit, mit der diese „Erholung" eintritt, wurden 2 Gruppen von Materialien unterschieden: 1. Mineralien wie Hämatit, Titanomagnetit, Ilmenit, deren magn. Moment sich in Zeiten < 1 min. wieder verstärkte, 2. Lava vom Chinjero, Teneriffa, bei der langsame Wiederverstärkung der Remanenz im Verlauf von Stunden um ungefähr 50% der gesamten Entmagnetisierung beobachtet wurde. Der C. P. der Lava liegt bei Zimmertemperatur.

Lebenslauf

Als Sohn des Kunstmalers Adolf Schmidlin wurde ich am 1. März 1910 zu Freiburg i. Br. geboren. Nachdem ich 1929 meine Mittelschulbildung auf der Neuburg-Oberrealschule zu Freiburg abgeschlossen hatte, verbrachte ich die ersten zwei Semester an der Albert-Ludwig-Universität zu Freiburg, wo ich die allgemeinen Vorlesungen über Mathematik, Chemie, Physik und Mineralogie hörte. Nach einem Aufenthalt von zwei Semestern an der Universität Bonn, wo ich mich bei Herrn Prof. H. Cloos besonders der Geologie widmete, kehrte ich nach Freiburg zurück, wo ich dann Physik, Mathematik und besonders Geophysik studierte. Die letzten zwei Jahre meiner Studienzeit war ich Volontärassistent bei Herrn Prof. Koenigsberger am Mathematisch-Physikalischen Institut, Freiburg.

Freiburg i. Br., Februar 1935

Hans Schmidlin

Berenberg'sche Buchdruckerei, Hannover